

PEMANFAATAN *COPPER SLAG* SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR PADA CAMPURAN BETON MUTU K-225

Muhammad Syahrizal Mauludi

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya
(Jl. Raya Prabumulih KM 32 Indralaya, Sumatera Selatan)
Email: Rizalbreath@gmail.com

ABSTRACT

Utilization of industrial soil waste or secondary materials has encouraged in construction field for the production of concrete because it contribute to reducing the consumption of natural resources. Copper slag is one of the materials that is considered as a waste from PT. Smelting Gresik Company which could have a promising future in construction Industry as partial aggregates. Many researchers have already found it possible to use copper slag as a concrete aggregate. But not much research has been carried out in Indonesia concerning as a replacement for sand in concrete mixes. This paper presents the results of an experimental study on copper slag as a replacement for sand in concrete mixes for f_c 18,675 MPa in Cylinder 15 cm x 30 cm by SNI 03-2834-2000 Standard. The effect of replacing fine aggregate by copper slag on the compressive strength is attempted in this work. The percentage replacement of sand by granulated copper slag were 0%, 10%, 20%, 30% and 35%. The compressive strength was observed to increase by about 10-35% from normal concrete. The experimental investigation showed that percentage replacement of sand by copper slag shall be up to 30%.

Keywords : *Copper Slag, Compressive Strenght, Partial Replacement of Sand, Concrete*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah industri atau bahan sekunder telah didorong di bidang konstruksi untuk meningkatkan kualitas dan kuat tekan produksi beton karena berkontribusi untuk mengurangi konsumsi sumber daya alam yang dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, baik pada pembangunan perumahan, gedung-gedung, jembatan, bendungan, jalan raya, pelabuhan, bandara dan sebagainya. Pertumbuhan atau perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup pesat hampir 70% material yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi adalah beton (*concrete*).

Beton merupakan salah satu pilihan sebagai bahan dasar struktur dalam konstruksi bangunan. Pada umumnya beton tersusun dari semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Jika diperlukan, bahan tambah dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Beton yang dipergunakan sebagai struktur dalam konstruksi teknik sipil dapat dimanfaatkan untuk banyak hal, misalnya dipergunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, pelat ataupun cangkang.

Peningkatan kekuatan beton dari sisi material dengan mensubstitusikan bahan-bahan pengganti, baik itu pada agregat kasar maupun agregat halus, sebagai pengganti bahan pengikat dan ada pula sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan daya rekat dari bahan pengikat dalam beton yang memanfaatkan limbah-limbah industri untuk digunakan dalam campuran beton telah banyak dilakukan penelitian di luar negeri. Akan tetapi

tidak banyak penelitian yang dilakukan di Indonesia. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa semakin meningkatnya industri berarti meningkat pula limbah buangan dari pabrik tersebut. Limbah yang dihasilkan jika tidak dikelola secara baik akan menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, yang pada akhirnya berimbas pada kesehatan masyarakat yang tinggal di lingkungan tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan pengadaaan sarana pengolahan limbah guna mengurangi dampak limbah tersebut. Selama beberapa tahun, banyak produk seperti fly ash, silica fume, dan slag di kategorikan sebagai limbah yang sukses dan mampu digunakan dalam material konstruksi baik sebagai pengganti sebagian atau sepenuhnya untuk agregat halus maupun agregat kasar. Dengan memanfaatkan limbah-limbah industri, salah satunya adalah *copper slag*, yaitu limbah industri peleburan tembaga berbentuk butiran runcing (Tajam) yang sifat fisiknya hampir sama dengan pasir alami, yang telah dicoba dalam penelitian ini sebagai pengganti sebagian pasir (*Finess Aggregate*) untuk melihat apakah dapat memberikan dampak yang positif pada kuat tekan beton.

Berdasarkan uraian diatas, maka hal yang menjadi perumusan masalah adalah bagaimana pengaruh terak tembaga (*copper slag*) sebagai bahan pengganti sebagian pasir terhadap kuat tekan yang direncanakan dalam campuran beton.

Tujuan dari perencanaan ini adalah Untuk mengetahui hasil uji kuat tekan beton masing-masing yang didapat dari campuran beton normal dan beton terak tembaga (*copper slag*) dengan persentase 0%, 10%,

20%, 30%, dan 35% dan untuk mengetahui pengaruh penambahan terak tembaga (copper slag) sebagai pengganti sebagian pasir dalam adukan beton terhadap kuat tekan beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

(1) Limbah Tembaga (*Copper Slag*)

Limbah tembaga (*copper slag*), yaitu hasil limbah peleburan dan pemurnian tembaga, berbentuk pipih dan runcing (tajam), dan sebagian besar mengandung oksida besi dan silikat serta mempunyai sifat kimia yang stabil dan sifat fisik yang sama dengan pasir. (d. Brindha and S. Nagan, 2010)

(2) Kegunaan Limbah Tembaga (*Copper Slag*)

Copper slag dapat digunakan sebagai produksi semen, beton dan sebagainya. Hal ini membuktikan bahwa *slag* dapat dimanfaatkan kembali dengan tetap memperhatikan lingkungan. Akihiko Y, Takashi Y. (1997) dan Ayano Toshiki et al. (2000) mengatakan bahwa *copper slag* dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan yang bagus. Kemudian pernyataan tersebut di klarifikasikan kembali oleh Ayano Toshiki, Kuramoto Osamu, Sakata Kenji. (2000). Hal ini juga diperjelas kembali dalam jurnal penelitian terbaru oleh D. Brindha and S. Nagan. (2010). yang mengatakan bahwa *copper slag* dapat digunakan sebagai pengganti pasir dalam campuran beton.

(3) Karakteristik Limbah Tembaga (*Copper Slag*)

a. Karakteristik Fisik

Secara fisik *copper slag* berbentuk pipih dan runcing (tajam) dan sebagian besar mengandung oksida besi dan silikat serta mempunyai sifat kimia yang stabil dan sifat fisik yang sama dengan pasir dan berwarna hitam seperti kaca pada permukaannya. Limbah Tembaga (*copper slag*) merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran gradasi limbah tembaga (*copper slag*) lebih mendekati ukuran pasir sehingga dapat dilakukan penelitian sebagai substitusi sebagian pasir pada campuran beton.

b. Karakteristik Kimia

Untuk komposisi kimia Limbah Tembaga (*copper slag*) yang telah di uji oleh PT. Smelting Gresik Company bisa di lihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Komposisi kimia limbah tembaga (*copper slag*)

Sl. No	Komposisi Kimia	Persentase Komposisi
1	FeO	68.29
2	SiO ₂	25.84
3	Al ₂ O ₃	0.22
4	CaO	0.15
5	MgO	0.2
6	Na ₂ O	0.58
7	K ₂ O	0.23

8	Mn ₂ O ₃	0.22
9	TiO ₂	0.41
10	CuO	1.2
11	LOI	6.59
12	Insoluble residue	14.88

Sumber : Brinda.D, Nagan.S, 2010

(4) Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari suatu struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang diinginkan maka semakin tinggi pula mutu beton yang harus dihasilkan. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian kuat tekan beton terhadap beton campuran *copper slag* dan beton normal dengan bentuk Silinder ukuran 150 mm x 300 mm. Untuk memperoleh nilai kuat tekan beton (f'c) dapat menggunakan rumus 2.1 dibawah ini :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana: f'c = Kuat Tekan benda uji (MPa)
P = Beban maksimum (N)
A = Luas Penampang (mm²)

3. METODOLOGI PENELITIAN

(1) Tinjauan Umum

Pada penelitian ini dilakukan percobaan untuk membuat proporsi rancangan campuran (*mix design*) menggunakan metode SNI (Standar Nasional Indonesia). Benda uji beton berbentuk silinder yang berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang terdiri dari beton normal, 10%, 20%, 30% dan 35%. Pengujian kuat tekan benda uji beton dilakukan pada umur 7, 21 dan 28 hari.

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara eksperimental yang dilakukan di Laboratorim Bahan Beton, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

(2) Tinjauan Umum

Pada penelitian ini dilakukan percobaan untuk membuat proporsi rancangan campuran (*mix design*) menggunakan metode SNI (Standar Nasional Indonesia). Benda uji beton berbentuk silinder yang berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang terdiri dari beton normal, 10%, 20%, 30% dan 35%. Pengujian kuat tekan benda uji beton dilakukan pada umur 7, 21 dan 28 hari.

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara eksperimental yang dilakukan di Laboratorim Bahan Beton, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

(3) Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Semen
Semen yang digunakan adalah semen Baturaja tipe I.
- Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah ½ yang berasal dari Lahat, Sumatera Selatan.

c. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari daerah Talang Balai, Sumatera Selatan.

d. Air

Air yang digunakan berasal dari sistem jaringan air bersih dari Lab. Beton Teknik Sipil Unsri.

d. Terak Tembaga (*Copper Slag*)

Terak Tembaga (*Copper Slag*) berasal dari lolos saringan No.50 yang berfungsi sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton dengan persentase 0%, 10%, 20%, 30% dan 35%.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan, mesin getar ayakan, mesin uji kuat tekan, timbangan, mesin pengaduk beton, gelas ukur, kerucut konic, oven, piknometer, mesin aduk beton,

talam, kerucut Abrams dan cetakan silinder diameter 150 mm tinggi 300 mm.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

(1) Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton di Laboratorium

Data nilai kuat tekan beton merupakan nilai kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian sampel beton untuk setiap kuat tekan beton rencana yang telah di konversikan, yaitu f_c' 18,675 MPa untuk masing-masing persentase beton campuran *copper slag*, yaitu 0%, 10%, 20%, 30% dan 35%. Pengujian dilakukan dengan menguji sampel menggunakan alat *Hydraulic Compression Machine* pada saat beton berumur 7 hari, 21 hari, dan 28 hari dengan *water cement ratio* adalah 0,53. Adapun proporsi campuran beton yang digunakan adalah sebagai berikut :

Table 2. Perancangan Campuran Beton

Keterangan	Semen	Pasir	Split	Air
Tiap m^3	424,528	704,724	905,33	215,42
Untuk 1 silinder	2,247	3,737	4,801	1,143
Untuk 1 silinder + 25%	2,809	4,671	6,001	1,429
Proporsi campuran (berat)	1,0	1,66	2,13	0,51

Table 3. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Mutu F_c' 18,675 MPa dengan Persen Campuran *Copper Slag* pada Umur 7 hari

Kode Sampel	Copper Slag (%)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata	Selisih KTB Terhadap Normal (%)
0SPBCS0-1	0	200	11,318	12,072	0
0SPBCS0-2	0	225	12,732		
0SPBCS0-3	0	215	12,167		
10SPBCS0-1	10	240	13,581	13,11	8,598
10SPBCS0-2	10	235	13,298		
10SPBCS0-3	10	220	12,449		
20SPBCS0-1	20	270	15,279	14,807	22,656
20SPBCS0-2	20	260	14,713		
20SPBCS0-3	20	255	14,43		
30SPBCS0-1	30	300	16,977	16,599	37,5
30SPBCS0-2	30	280	15,845		
30SPBCS0-3	30	300	16,977		
35SPBCS0-1	35	290	16,411	15,656	29,686
35SPBCS0-2	35	260	14,713		
35SPBCS0-3	35	280	15,845		

Keterangan :

SPBCS : Substitusi Pasir Beton Copper Slag

Table 4. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Mutu Fc'18,675 MPa dengan Persen Campuran *Copper Slag* pada Umur 21 hari

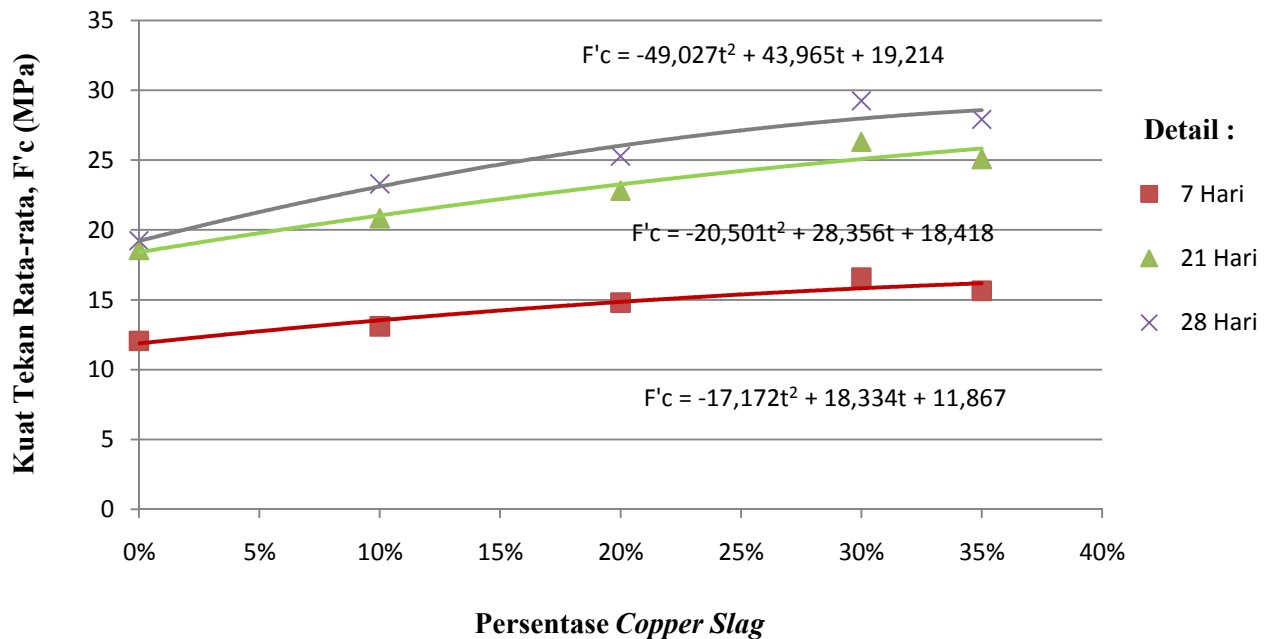
Kode Sampel	Copper Slag (%)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata	Selisih KTB Terhadap Normal (%)
0SPBCS0-1	0	320	18,108	18,580	0,000
0SPBCS0-2	0	335	18,957		
0SPBCS0-3	0	330	18,674		
10SPBCS0-1	10	355	20,089	20,843	12,180
10SPBCS0-2	10	380	21,504		
10SPBCS0-3	10	370	20,938		
20SPBCS0-1	20	400	22,635	22,824	22,842
20SPBCS0-2	20	410	23,201		
20SPBCS0-3	20	400	22,635		
30SPBCS0-1	30	455	25,748	26,314	41,625
30SPBCS0-2	30	460	26,031		
30SPBCS0-3	30	480	27,162		
35SPBCS0-1	35	450	25,465	25,088	35,027
35SPBCS0-2	35	440	24,899		
35SPBCS0-3	35	440	24,899		

Table 5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Mutu Fc'18,675 MPa dengan Persen Campuran *Copper Slag* pada Umur 28 hari

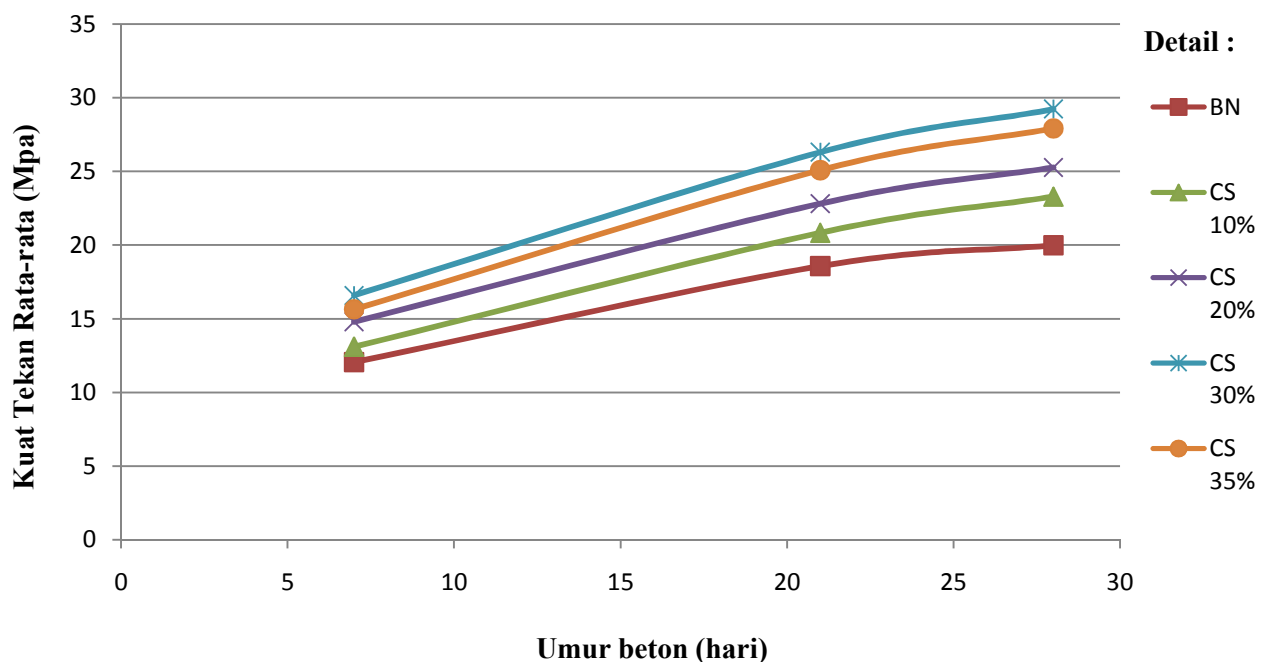
Kode Sampel	Copper Slag (%)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata	Selisih KTB Terhadap Normal (%)
0SPBCS0-1	0	330	18,674	19,240	0,000
0SPBCS0-2	0	350	19,806		
0SPBCS0-3	0	340	19,240		
10SPBCS0-1	10	415	23,484	23,296	21,081
10SPBCS0-2	10	420	23,767		
10SPBCS0-3	10	400	22,635		
20SPBCS0-1	20	440	24,899	25,276	31,372
20SPBCS0-2	20	440	24,899		
20SPBCS0-3	20	460	26,031		
30SPBCS0-1	30	510	28,860	29,237	51,959
30SPBCS0-2	30	520	29,426		
30SPBCS0-3	30	520	29,426		
35SPBCS0-1	35	490	27,728	27,917	45,099
35SPBCS0-2	35	500	28,294		
35SPBCS0-3	35	490	27,728		

Dari hasil uji kuat tekan diatas berdasarkan setiap proporsi campuran terak tembaga (*copper slag*) mulai dari prosentase 0%, 10%, 20%, 30%, dan 35% sebagai pengganti sebagian pasir terjadi perbedaan kuat tekan pada masing-masing prosentase. Oleh karena itu, maka hasil perbedaan kuat tekan tersebut yang didapat dibuat grafik hubungan antara kuat tekan beton berbagai variasi

prosentase terak tembaga dengan umur beton 7, 21 dan 28 hari dan grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan variasi prosentase terak tembaga adalah pada gambar berikut :



Gambar 1. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Persentase Campuran Copper Slag pada Umur 7, 21 dan 28 hari



Gambar 2. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Beton Normal dengan Masing-masing Campuran Copper Slag Terhadap Umur

Pada umur uji beton 7 hari kuat tekan terbesar terjadi pada campuran terak tembaga sebesar 30% yaitu mencapai 16,599 MPa, kenaikannya sebesar 37,5% terhadap beton normal. Pada campuran terak tembaga sebesar 10% kuat tekan beton mencapai 13,11 MPa, kenaikannya sebesar 8,598% terhadap beton normal. Pada campuran 20% sebesar 14,807 MPa, kenaikannya sebesar 22,656% terhadap beton normal. Sedangkan pada beton dengan campuran terak tembaga sebesar 35% terjadi penurunan kuat tekan beton terhadap beton

campuran terak tembaga 30% dengan kuat tekan beton sebesar 15,656 MPa. Akan tetapi, kuat tekan beton masih diatas beton normal sebesar 29,686%.

Pada umur uji beton 21 hari perbandingan kuat tekan beton normal terhadap kuat tekan beton campuran terak tembaga tampak bahwa beton campuran terak tembaga dengan prosentase 10%, 20%, 30%, dan 35%, kuat tekan bertambah dari kuat tekan beton normal. Kuat tekan terbesar terdapat pada pencampuran terak tembaga

sebesar 30% yaitu sebesar 26,134 MPa dengan persentase kenaikan sebesar 41,625% dari beton normal, dan pada pencampuran terak tembaga 35% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 6,600% dari beton campuran terak tembaga 30%. Akan tetapi tetap berada diatas beton normal yaitu sebesar 30,025%, yaitu sebesar 25,088 MPa.

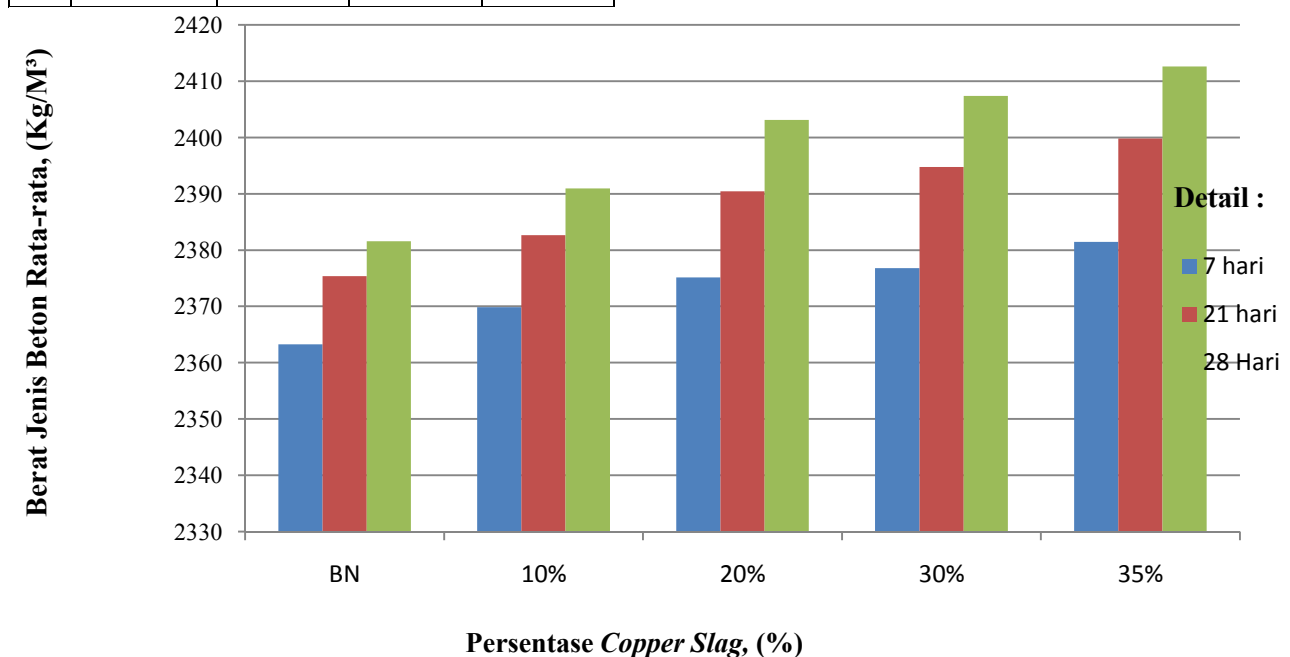
Hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan menghubungkan kuat tekan masing-masing persentase campuran terak tembaga menunjukkan bahwa persentase mengalami kenaikan kuat tekan beton terhadap beton normal yang sangat signifikan, yaitu pada pencampuran terak tembaga sebesar 30% terhadap pasir dengan kuat tekan rata-rata adalah sebesar 29,237 MPa atau sebesar 51,959%. Akan tetapi, penurunan kuat tekan beton terjadi pada beton campuran terak tembaga 35%. Penggunaan terak tembaga yang paling efektif pada umur beton 7, 21, dan 28 hari adalah dengan variasi campuran terak tembaga 30%.

(2) Berat Beton

- (a) Hasil Pengujian Berat Jenis Beton Terhadap Persentase *Copper Slag*

Tabel 6. Data Berat Beton

No	Benda Uji	Berat Beton Rata-Rata (Kg)		
		7 Hari	21 Hari	28 Hari
1	BN	12,529	12,593	12,626
2	10%	12,564	12,631	12,675
3	20%	12,592	12,673	12,740
4	30%	12,600	12,696	12,763



Gambar 3. Grafik Hubungan Berat Jenis Beton Rata-Rata Terhadap Persentase *Copper Slag*

5	35%	12,625	12,722	12,790
---	-----	--------	--------	--------

Tabel 7. Data Berat Jenis Beton

No	Benda Uji	Berat Jenis Beton Rata-Rata (Kg/m³)		
		7 hari	21 hari	28 Hari
1	BN	2363,258	2375,393	2381,555
2	10%	2369,860	2382,624	2390,924
3	20%	2375,142	2390,421	2403,122
4	30%	2376,777	2394,759	2407,397
5	35%	2381,430	2399,789	2412,616

Berdasarkan tabel diatas maka dibuat grafik hubungan antara berat beton dengan persentase terak tembaga pada Gambar 3. yang menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, beton memiliki berat yang lebih besar dibandingkan dengan beton pada umur 7 dan 21 hari sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin lama umur beton, berat beton mengalami kenaikan.

Pada umur 7, 21 dan 28 hari, beton normal memiliki berat jenis rata-rata, yaitu 2363,258 kg/m³, 2375,393 kg/m³ dan 2381,555 kg/m³. Sedangkan beton dengan persentase terak tembaga 35% memiliki berat jenis rata-rata sebesar 2381,430 kg/m³, 2399,789 kg/m³ dan 2412,616 kg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa berat jenis beton masih berada pada batas beton normal yaitu berkisar 2200 kg/m³ sampai dengan 2500 kg/m³.

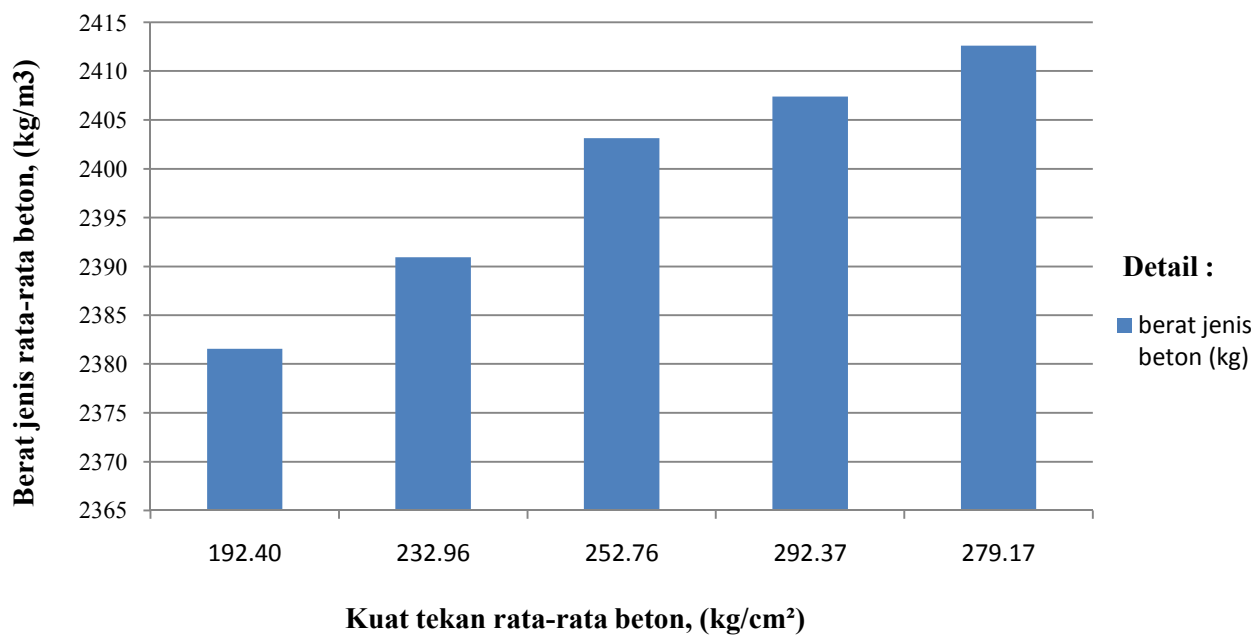
(b) Hasil Uji Kuat Tekan dengan Berat Beton

Tabel 8. Hasil Uji Kuat Tekan dengan Berat Beton

Kode Sampel	Benda Uji	Berat Rata-rata	KTB Rata-rata	
		(Kg/m ³)		
		28 Hari	(Kg/cm ²)	(MPa)
28SPBCS 0%	BN	2381,555	192,40	19,240
28SPBCS 10%	10%	2390,924	232,96	23,296
28SPBCS 20%	20%	2403,122	252,76	25,276
28SPBCS 30%	30%	2407,397	292,37	29,237
28SPBCS 35%	35%	2412,616	279,17	27,917

Berdasarkan tabel diatas maka dibuat grafik hubungan antara berat beton dengan kuat tekan rata-rata seperti pada Gambar 4. yang menunjukkan telah terjadi perubahan berat jenis beton rata-rata, ini terbukti berdasarkan grafik hubungan berat jenis beton rata-rata umur 28 hari dengan kuat tekan rata-rata yaitu berat jenis beton dengan substitusi *copper slag* 0 % dengan kuat tekan rata sebesar 192,40 kg/cm² (19,240 MPa) adalah

sebesar 2381,555 kg/m³ dan berat jenis beton dengan substitusi *copper slag* 35 % dengan kuat tekan rata sebesar 279,17 kg/cm² (27,917 MPa) adalah sebesar 2412,616 kg/m³. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan terak tembaga pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton dan berat jenis beton secara bersamaan.



Gambar 4. Grafik Hubungan Berat Jenis Beton Rata-Rata Umur 28 Hari dengan Kuat Tekan Beton

5. KESIMPULAN DAN SARAN

(1) Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan hasil pengolahan data mengenai Pemanfaatan *Copper Slag* Sebagai Substitusi Pasir Pada Campuran Beton Mutu K-225, maka dapat disimpulkan bahwa :

- Hasil uji kuat tekan rata-rata beton normal yang diteliti yaitu 19,240 MPa telah mencapai target kuat tekan beton yang direncanakan sebesar 18,675 MPa dari analisa perhitungan *Job Mix Formula* berdasarkan SNI-03-2834-2000.

- Dari hasil pengujian kuat tekan beton pada umur masing-masing benda uji, yaitu 7, 21, dan 28 hari diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa setiap masing-masing persentase campuran terak tembaga 10%, 20%, 30%, dan 35%, mengalami peningkatan kuat tekan dari beton normal. Kuat tekan rata-rata terbesar terdapat pada campuran terak tembaga sebesar 30% pada tiap masing-masing umur. Akan tetapi terjadi penurunan pada campuran terak tembaga 35% pada umur 7, 21, dan 28 hari, dengan penurunan sebesar 7,81%, 6,60%, dan 6,86%. Hal ini disimpulkan bahwa pengaruh penambahan terak tembaga pada

penelitian ini hanya dapat bereaksi hingga batas optimal sebanyak 30%.

3. Hasil uji berat jenis beton menunjukkan bahwa berat jenis beton masih berada pada batas beton normal yaitu berkisar 2200 kg/m^3 sampai dengan 2500 kg/m^3 yaitu sebesar $2381,555 \text{ kg/m}^3$ untuk beton dengan campuran terak tembaga 0% dan $2412,616 \text{ kg/m}^3$ untuk beton dengan campuran terak tembaga 35% pada umur uji beton 28 hari.

(2) Saran

1. Untuk mendapatkan kuat tekan beton yang tinggi dengan campuran *copper slag* pada beton, sebaiknya dalam persentase yaitu berkisar 30%.
2. Untuk mendapatkan material *copper slag* bisa dilakukan melalui PT. Smelting Gresik Company dengan memiliki syarat berupa ketersediaan lisensi industri atau bisa juga melalui PT. Semen Padang dengan menggunakan Surat Pengantar secara Kelembagaan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan campuran terak tembaga terhadap kuat tekan beton pada mutu beton yang lebih tinggi dengan variasi campurannya lebih dari 35% dikemudian hari, sehingga dapat memberikan referensi yang lebih lengkap dan berguna untuk ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Brindha, D. dan Nagan, S. 2010. *Utilization of Copper Slag as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. International Journal of Earth Sciences and Engineering*, Vol. 03, No. 04, pp. 579-585.
- 2) Brindha, D. dan Nagan, S. 2011. *Durability Studies On copper Slag Admixed Concrete. Asian Journal of Civil Engineering*, Vol. 12, No. 05, pp. 563-578.
- 3) Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*, SNI 03-2834-2000. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- 4) Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *LPMB, Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal*, SK SNI 03-2834-2000. Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- 5) Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- 6) Himaru Keisuke, Mizuguchi Hiroyuki, Hashimoto Chikanori, Ueda Takao, Fujita Kazuhiro, Oumi Masaak. 2005. *Properties of Concrete Using Copper Slag and Second Class Fly Ash as a Part of Fine Aggregate. Journal of the Society of Materials Science*, Japan Vol.54, No.8, page.828-833.
- 7) Kuramoto Osamu, Sakata Kenji. 2000. *Concrete with Copper Slag Fine Aggregate. Journal of the Society of Materials Science*, Japan Vol.49, No.10, Page.1097-1102.
- 8) Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil. 2012. *Pedoman Pelaksanaan Praktikum Beton*, Universitas Sriwijaya.
- 9) Mordock, L.J. dan K.M. Brook. 1991. *Bahan dan Praktek beton*. Terjemahan Stephany Hindarko. Erlangga, Jakarta.
- 10) Mulyono, Tri, Ir, MT. 2004. *Teknologi Beton*. Andi Offset, Yogyakarta.
- 11) Neville, A.M. 2002. *Properti Of Concrete*. Prentice Hall, England.
- 12) Neville, A.M. dan Books, J.J. 1987. *Concrete Technology, Longman Scientific & Technical*, New York.
- 13) Nugraha, Paul dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan ke Beton Kinerja Tinggi*. Andi Offset, Yogyakarta.